

Л.В. СТУЛОВ, канд. техн. наук
С.В. НОВИЧЕНКО

ОПТИМИЗАЦИЯ БЕЗОТКАЗНОСТИ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ МНОГОРЕЖИМНЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ, С УЧЕТОМ СТРАТЕГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

В статті викладені результати теоретичних досліджень оптимізації безвідмовності елементів багаторежимних радіоелектронних систем на стадії проектування та розробки, з урахуванням стратегії використання режимів функціонування. Розроблено дві методики оптимізації безвідмовності елементів за рахунок зміни базових значень інтенсивності відмов та за рахунок вибору елементів із однотипних по рівню безвідмовності для досягнення мінімальної вартості виготовлення багаторежимних радіоелектронних систем при виконанні вимог щодо рівня їх безвідмовності.

Постановка задачи. На стадии проектирования и разработки радиоэлектронных средств [1], возникает задача обеспечения заданного уровня надежности, который в той или иной степени гарантировал бы выполнение задач, поставленных перед воинскими подразделениями, использующими радиоэлектронные средства. При этом, одной из важных задач, которые решаются при проектировании радиоэлектронной аппаратуры является снижение затрат средств на изготовление.

В [2] изложен метод расчета интенсивности отказов многорежимных радиоэлектронных систем (МРС). В методе учитываются изменения значений коэффициентов электрических нагрузок электрорадиоизделий (ЭРИ), при функционировании.

Анализ аналитической модели по расчету интенсивности отказов МРС показал, что вклад безотказности ЭРИ, составляющих различные режимные единицы в безотказность МРС, изменяется в зависимости от изменения стратегии использования режимов, т.е. от изменения значений параметров процесса функционирования.

В таких условиях, возникает задача оптимизации распределения требований к значениям показателей безотказности ЭРИ с целью создания МРС с заданным уровнем безотказности при минимальном расходовании средств на изготовление.

Анализ литературы. Исходя из общих требований к надежности радиоэлектронных средств, производят оптимальное распределение требований к надежности подсистем, а также внутри подсистем (ЭРИ). Так, в работе [3], при распределении требований к надежности ЭРИ предлагается использовать имеющийся опыт производства и эксплуатации РЭА данного вида, который учитывается в методе весовых коэффициентов.

Данный метод исключает произвольные неоправданные решения, способствует рациональному распределению средств и усилий разработчиков и сокращению сроков проектирования, однако его реализация требует наличия опыта производства и эксплуатации конкретного вида РЭА, что при разработке принципиально новой сложной радиоэлектронной системы невозможно.

Цель статьи. Поскольку влияние безотказности ЭРИ, входящих в различные режимные единицы, на безотказность МРС зависит от параметров процесса функционирования, то с использованием аналитического аппарата по расчету интенсивности отказов МРС, представленного в [2], можно оптимально предъявлять требования к значениям показателей безотказности ЭРИ, в зависимости от стратегии использования режимов функционирования.

Таким образом, целью данной статьи является *методика оптимизации безотказности ЭРИ МРС на стадии проектирования и разработки, учитывающая стратегию использования режимов функционирования.*

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ЗАДАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМЫХ УРОВНЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ЭРИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Установление (задание) количественных и качественных требований к надежности радиоэлектронных средств, производится путем нормирования надежности [4], с соответствующей записью в нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Обеспечение высокого уровня эксплуатационной надежности радиоэлектронных систем при проектировании и производстве осуществляется [5] по нескольким направлениям, одним из которых является повышение надежности комплектующих элементов (ЭРИ).

Из анализа моделей в [2] следует, что изменение уровня безотказности ЭРИ возможно по нескольким направлениям, одним из которых является изменение базового значения интенсивности отказов ЭРИ, достигаемое путем применения разных материалов, принципов построения, и т.д.;

Таким образом, возникает необходимость рассмотреть оптимизационную задачу по распределению требований к безотказности ЭРИ МРС за счет изменения базовых значений интенсивности отказов ЭРИ.

МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К БАЗОВЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ОТКАЗОВ ЭРИ МРС, С УЧЕТОМ СТРАТЕГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Задача оптимального распределения требований к базовым значениям интенсивности отказов ЭРИ МРС, состоит в минимизации затрат на

изготовление, при обеспечении заданного значения эксплуатационной интенсивности отказов системы в целом.

Используя аналитическую модель по расчету интенсивности отказов МРС, изложенную в [2], была получена система неравенств, задающая множество допустимых решений, при стационарном (в узком смысле) процессе функционирования

$$\begin{cases} \sum_{q=1}^Q \left(\lambda_q^{\acute{a}} \cdot \sum_{j=1}^m \left(\xi_j \cdot \psi_q(K_{\acute{y}\acute{e}}^q(j)) \cdot \prod_{v=1}^{b_q} K_v^q \right) \right) \leq \lambda_{\delta\delta}^C, \\ \lambda_q^{\acute{a}*} > 0, \quad q = \overline{1, Q}, \end{cases} \quad (1)$$

где q – номер ЭРИ;

Q – количество ЭРИ в МРС;

$\lambda_q^{\acute{a}}$ – базовое значение интенсивности отказов q -го ЭРИ, приведенное к условиям: электрическая нагрузка, равная номинальной, температура окружающей среды $t = 25^\circ \text{C}$;

j – номер режима функционирования МРС;

m – количество режимов функционирования МРС;

ξ_j – значение вероятности использования МРС в j -м режиме функционирования в произвольный момент времени функционирования;

$\psi_q(K_{\acute{y}\acute{e}}^q(j))$ – функция коэффициента режима q -го ЭРИ, зависящая от значения коэффициента электрической нагрузки $K_{\acute{y}\acute{e}}^q(j)$, который в свою очередь зависит от номера функционирующего режимного множества;

K_v^q – коэффициенты, учитывающие изменение значения исходной, базовой интенсивности отказов q -го ЭРИ, вследствие действия различных факторов;

b_q – количество учитываемых факторов, для q -го ЭРИ;

$\lambda_{\delta\delta}^C$ – требуемое значение интенсивности отказов МРС.

Критерий оптимальности данной оптимизационной задачи состоит в минимизации стоимости изготовления МРС

$$C = \varphi^N \left(\lambda_q^{\acute{a}}, \quad q = \overline{1, Q} \right) \Rightarrow \min ,$$

где $\varphi^{\bar{q}}(\lambda_q^{\bar{a}}, q = \overline{1, Q})$ – многомерная функция стоимости изготовления МРС, аргументами которой, являются базовые значения интенсивности отказов ЭРИ.

Для детализации критерия оптимальности данной оптимизационной задачи была проведена декомпозиция многомерной функции стоимости изготовления МРС на сумму одномерных функций стоимости ЭРИ, следующим образом:

$$C = \sum_{q=1}^Q \varphi_q^{\bar{y}}(\lambda_q^{\bar{a}}) + \Delta^C \Rightarrow \min, \quad (2)$$

где $\varphi_q^{\bar{y}}(\lambda_q^{\bar{a}})$ – функция стоимости изготовления ЭРИ имеющего номер q , аргументом которой является базовое значение интенсивности отказов;

$\Delta^C = \sum_{z=1}^Z K_z^C$ – затраты на изготовление МРС, без учета стоимости изготовления ЭРИ.

Затраты K_z^C , $z = \overline{1, Z}$ в каждом конкретном случае могут иметь различную сущность: стоимости изготовления монтажных элементов, элементов охлаждения, подогрева, проведения монтажных работ и других мероприятий, не связанных с изготовлением ЭРИ.

Также, при декомпозиции многомерной функции стоимости изготовления МРС, определяя функции стоимости изготовления ЭРИ $\varphi_q^{\bar{y}}(\lambda_q^{\bar{a}})$, $q = \overline{1, Q}$, необходимо учесть удорожание или удешевление затрат, которые определены параметрами K_z^C , $z = \overline{1, Z}$, вследствие изменения уровня безотказности ЭРИ.

Таким образом, функциями стоимости изготовления ЭРИ $\varphi_q^{\bar{y}}(\lambda_q^{\bar{a}})$, $q = \overline{1, Q}$ учитываются не только стоимости изготовления ЭРИ имеющих заданный уровень безотказности, но и все расходы и экономия средств, которые связаны с изменением уровня безотказности ЭРИ (удорожание или удешевление монтажа, расходы на дополнительное оборудование или экономия средств, вследствие отказа от него, и т.д.).

Такой подход при декомпозиции многомерной функции стоимости изготовления МРС позволяет разграничить затраты связанные с проведением общих мероприятий, не имеющих отношения к изменению уровня безотказности ЭРИ, и затраты связанные с проведением мероприятий, имеющих отношения к изменению уровня безотказности ЭРИ.

Множество допустимых решений настоящей оптимизационной задачи, определяемое системой линейных неравенств (1), является выпуклым, потому

что, согласно [6], пересечение выпуклых множеств образует выпуклое множество, а любое линейное неравенство, из которых и состоит система (1), задает выпуклое множество.

Критерий оптимальности настоящей оптимизационной задачи, представленный выражением (2), состоит в минимизации функции стоимости изготовления МРС, составляющей целевую функцию $C = \sum_{q=1}^Q \Phi_q^y(\lambda_q^{\dot{a}}) + \Delta^C$, которая является нелинейной, по отношению к параметрам оптимизации $\lambda_q^{\dot{a}}$, $q = \overline{1, Q}$.

Нелинейность целевой функции по отношению к параметрам оптимизации следует из общего характера функции стоимости ЭРИ. Также, из общего характера функции стоимости ЭРИ, нетрудно показать, что целевая функция настоящей оптимизационной задачи является выпуклой на выпуклом множестве допустимых решений.

Таким образом, настоящая оптимизационная задача относится к классу задач нелинейного, выпуклого программирования с условной оптимизацией, методы решения которых, на сегодняшний день, достаточно развиты [6], [7].

В результате выполнения итерационных алгоритмов [6], [7] определяется оптимальное решение задачи, т.е. определяются такие значения набора параметров $\lambda_q^{\dot{a}*}$, $q = \overline{1, Q}$, из множества допустимых решений, заданного системой (1), при которых достигается минимум стоимости изготовления МРС и обеспечивается требуемый уровень ее безотказности.

Применение оптимизационной задачи по распределения требований к уровням безотказности ЭРИ за счет изменения их базовых значений интенсивностей отказов оправдано в условиях крупных проектов с большой серией выпуска МРС.

Это обусловлено сравнительно большими расходами средств на внедрение нужных технологий производства, материалов и других мероприятий, связанных с изменением базовых значений интенсивностей отказов ЭРИ [8].

Применяя данную методику, исполнителем осуществляется индивидуальный подход к разработке и производству каждого ЭРИ в отдельности.

В условиях средних и малых проектов, использование такой методики потребует сравнительно больших затрат денежных средств и времени.

При сравнительно небольшом финансировании проектных, конструкторских и производственных работ, как правило, не производят разработку и изготовление ЭРИ, а ограничиваются закупкой готовых у предприятий специализирующихся на их выпуске.

При этом у исполнителя есть возможность выбора ЭРИ с разным уровнем безотказности.

По этому возникает необходимость в разработке методики оптимального выбора ЭРИ, по уровню безотказности, при проектировании МРС, с учетом стратегии использования режимов функционирования.

МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА ЭРИ, ПО УРОВНЮ БЕЗОТКАЗНОСТИ, ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МРС, С УЧЕТОМ СТРАТЕГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

При выполнении небольших проектов направленных на разработку и производство радиоэлектронных средств, экономически оправданным является выбор и приобретение ЭРИ, которые изготавливаются специализированными предприятиями, для дальнейшей сборки, настройки, отладки и других мероприятий, связанных с разработкой и производством радиоэлектронных средств.

Предприятия, специализирующиеся на изготовлении ЭРИ большое внимание уделяют дифференциации надежности изготавливаемой продукции.

Так, при выпуске однотипных ЭРИ, предназначенных для выполнения одних и тех же функций, закладываются различные уровни надежности.

Например, в зарубежной практике изготовления электрорадиоизделий существует их деление на четыре условных уровня: "General", "Industrial", "Military", "Space".

ЭРИ этих четырех уровней надежности имеют абсолютно одни и те же значения электрических параметров. Различие составляет уровень их надежности и стоимости.

Учитывая вышеизложенные соображения и используя аналитическую модель, изложенную в [2], была определена система неравенств, задающая множество допустимых решений, при стационарном процессе функционирования $j(t)$ (в узком смысле)

$$\begin{cases} \sum_{q=1}^Q \left(\sum_{j=1}^m (\lambda_q^{\mu_q} \cdot \psi_q(K_{\text{гг}}^q(j)) \cdot \xi_j) \right) \leq \lambda_{\text{до}}^C, \\ \mu_q \in \{1, 2, 3, 4\}, \quad q = \overline{1, Q}, \end{cases} \quad (3)$$

где $\lambda_q^{\mu_q}$ – значение эксплуатационной интенсивности отказов q -го ЭРИ, без учета коэффициента электрической нагрузки, при условном уровне μ_q ;

μ_q – номер условного уровня ("General" = 1, "Industrial" = 2, "Military" = 3, "Space" = 4), для q -го ЭРИ.

Предприятия, специализирующиеся на изготовлении ЭРИ, декларируют значение эксплуатационной интенсивности отказов, по типам ЭРИ, для определенного уровня коэффициента режима $\lambda_q^{\mu_q} \Big|_{K'_p}$.

Исходя из моделей в [2] можно определить значение эксплуатационной интенсивности отказов q -го ЭРИ, без учета коэффициента электрической нагрузки, при условном уровне μ , следующим образом:

$$\lambda_q^{\mu_q} = \frac{\lambda_q^{\mu_q} \Big|_{K'_p}}{K'_p}.$$

Критерий оптимальности данной оптимизационной задачи, как и предыдущей, состоит в минимизации стоимости изготовления МРС, однако параметрами данной задачи, являются номера условных уровней μ_q , $q = \overline{1, Q}$, т.е.

$$C = \varphi^{\bar{N}}(\mu_q, q = \overline{1, Q}) \Rightarrow \min,$$

где $\varphi^{\bar{N}}(\mu_q, q = \overline{1, Q})$ – многомерная функция стоимости изготовления МРС, аргументами которой, являются значения номеров условного уровня μ_q ЭРИ.

Для детализации критерия оптимальности данной оптимизационной задачи была произведена декомпозиция многомерной функции стоимости изготовления МРС на сумму одномерных функций стоимости ЭРИ, следующим образом:

$$C = \sum_{q=1}^Q C_q^{\mu_q} + \Delta^C \Rightarrow \min$$

где $C_q^{\mu_q}$ – стоимость q -го ЭРИ, имеющего условный уровень надежности μ_q .

Учитывая то, что в системе (3) имеется ограничение типа целочисленности, то решение данной оптимизационной задачи можно получить при использовании методов целочисленного математического программирования [9 – 12].

В результате решения данной оптимизационной задачи, определяются оптимальные значения параметров оптимизации μ_q^* , $q = \overline{1, Q}$, при которых достигается минимум стоимости изготовления МРС и обеспечивается требуемый уровень ее безотказности.

ВЫВОДЫ

Используя методологию теории оптимизации и параметрических задач синтеза, была разработана методика оптимального распределения требований к базовым значениям интенсивностей отказов ЭРИ МРС.

Отличительной чертой данной методики является использование аналитической модели расчета интенсивности отказов МРС, учитывающей изменения значений коэффициентов электрических нагрузок ЭРИ при функционировании, что составляет новизну полученного научного результата.

Такое отличие позволяет снизить затраты денежных средств на изготовление МРС, за счет параметрической оптимизации, используя априорную информацию о нагрузочных характеристиках ЭРИ, в различных режимах функционирования систем, и прогнозируемые параметры процесса функционирования.

Практическая значимость полученного научного результата состоит в рациональном использовании ресурсов, при крупносерийном изготовлении МРС.

При среднесерийном и малосерийном производстве МРС, экономически оправданным является использование методики оптимального выбора ЭРИ, по уровню безотказности, при проектировании МРС.

Практическая значимость полученного научного результата состоит в рациональном использовании ресурсов, при среднесерийном и мелкосерийном производстве МРС.

Список литературы: 1. Львович Я.Е., Фролов В.Н. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности РЭА. – М.: Радио и связь, 1986. – 192с. 2. Стулов Л.В., Новиченко С.В. Метод расчета интенсивности отказов многорежимных радиоэлектронных средств, образцов вооружения и военной техники, учитывающий стратегию использования режимов функционирования // Збірник наукових праць ХУПС. – 2005. – Вип. 2(2). – С. 66-68. 3. Улинич Р.Б. Практическое обеспечение надежности РЭА при проектировании. – М.: Радио и связь, 1985. – 112с. 4. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення; Введ. 01.01.96. – К.: Держстандарт України, 1995. – 92с. 5. Куликов В.А. Обеспечение надежности сложной радиоэлектронной аппаратуры при мелкосерийном производстве. – М.: Советское радио, 1966. – 136с. 6. Колесников А.А. Прикладная математика. – Л.: ВАС, 1987. – 209с. 7. Атпетков А.В., Галкин С.В. и др. Методы оптимизации. / Под ред. Зарубина В.С., Крищенко А.П. – М.: МГТУ им Н.Э. Баумана, 2003. – 440с. 8. Катасонов В.Ю., Морозов Д.С. и др. Проектное финансирование: Мировой опыт и перспективы для России / Под ред. В.Ю. Катасонова. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 304с. 9. Софиева Ю.Н., Цирлин А.М. Условная оптимизация. Методы и задачи. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 144с. 10. Измаилов А.Ф., Солодов М.В. Численные методы оптимизации: Учебное пособие. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 304с. 11. Бирюков С.И. Оптимизация. Элементы теории. Численные методы: Учебное пособие. – М.: МЗ-Пресс, 2003. – 248с. 12. Галеев Э.М. Оптимизация: теория, примеры, задачи: Учебное пособие. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 304с.

Поступила в редколлегию 21.05.05